



## Diez años de medidas de NO<sub>2</sub> desde el Observatorio de Izaña

M. Yela<sup>1</sup>, M. Gil<sup>1</sup>, S. Rodríguez<sup>1</sup>, O. Puertedura<sup>1</sup>, J. Iglesias<sup>1</sup>, J. R. Moreta<sup>1</sup>, E. Cuevas<sup>2</sup>, C. López<sup>2</sup> y V. Carreño<sup>2</sup>

(1) Área de Investigación e Instrumentación atmosférica – Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

(2) Observatorio Atmosférico de Izaña – Instituto Nacional de Meteorología

*En marzo de 1993 y fruto de un programa de colaboración entre el INM y el INTA se instaló en el Observatorio Atmosférico de Izaña (Tenerife, 28°N, 17°W) un espectrómetro operando en el visible (430-450 nm). El objetivo principal era obtener la columna total de NO<sub>2</sub>, su dependencia estacional y su relación con el ozono en latitudes subtropicales. En diciembre de 1999 las medidas se incrementaron con la instalación de un nuevo espectrógrafo con array de diodos. Recientemente la estación ha sido incluida como estación complementaria dentro del NDSC. En este trabajo se presentará la climatología del NO<sub>2</sub> obtenida sobre Izaña, así como la descripción de su onda anual y otras variaciones de periodo corto, así como la variabilidad diaria y su relación con otros procesos químicos y dinámicos que tienen lugar a esas latitudes.*

### 1. Introducción

El sistema NO - NO<sub>x</sub> juega un papel determinante en el equilibrio del ozono en la baja estratosfera. Aunque la concentración de NO<sub>2</sub> es tres órdenes de magnitud inferior a la del O<sub>3</sub>, el conjunto de reacciones catalíticas propuestas por Crutzen en 1970 (Crutzen, 1970) mantiene los niveles de ozono en la cuarta parte de lo previsto en una atmósfera de Chapman. El descubrimiento en 1985 de una destrucción masiva de ozono durante la primavera austral en la Antártida y las observaciones posteriores de un contenido de NO<sub>2</sub> extraordinariamente bajo en esa región sirvieron para identificar la necesidad de un conocimiento mucho más profundo de los mecanismos fotoquímicos, termodinámicos y de transporte del sistema O<sub>3</sub> - NO<sub>x</sub>. Medidas realizadas después de la erupción del volcán Monte Pinatubo pusieron de manifiesto que también las latitudes medias y tropicales son sensibles a alteraciones importantes de ozono y NO<sub>2</sub> (Koike et al., 1994) debido a las variaciones en la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera (Solomon et al, 1996)

La mayor parte de los NO<sub>x</sub> se producen en la estratosfera a partir de la reacción del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) generado en la superficie terrestre por nitrificación bacteriana con oxígeno atómico. Otras fuentes son la quema de biomasa, los rayos y las emisiones procedentes de los aviones que vuelan en la baja estratosfera.

La importancia del NO<sub>2</sub> radica en los dos papeles que juega en la atmósfera, por un lado destruye catalíticamente el ozono y por otro inhibe los ciclos de HO<sub>x</sub> y ClO<sub>x</sub> para la destrucción del O<sub>3</sub> eliminando los radicales en los dos ciclos. A alturas superiores a 25 km, el efecto neto es destruir O<sub>3</sub>, los NO<sub>x</sub> explican más del 50% de la destrucción total de ozono en la atmósfera media y alta troposfera mientras que en la baja estratosfera, el efecto neto es proteger el ozono de la destrucción.

A excepción del propio ozono, la estratosfera tropical continúa en la actualidad como la región más desconocida de la atmósfera media, a pesar de ser en esta región por donde penetran los "gases fuente" troposféricos que, en última instancia, son los responsables de la formación de los compuestos químicos que mantienen al ozono en equilibrio en esta región.

Con el objeto de conocer los valores de la columna vertical de NO<sub>2</sub>, sus dependencias estacionales y su relación con el ozono en latitudes subtropicales se estableció un programa entre el Instituto Nacional de Meteorología (INM) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) para la medida

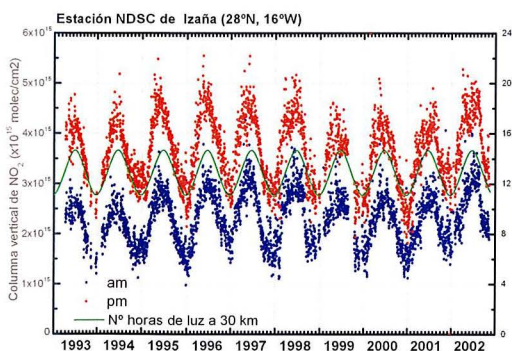


diaria de estos componentes en el Observatorio Atmosférico de Izaña (28° N, 17°W, Tenerife). El instrumento se instaló en marzo de 1993. En 1999 se ampliaron las medidas con la instalación de un nuevo espectrógrafo basado en un array de diodos admitido como instrumento de la red NDSC (Roscoe et al, 1999). En la actualidad ambos instrumentos se encuentran operativos.

## 2. Instrumentación utilizada

Los instrumentos han sido concebidos y desarrollados en el Dpto de Investigación e Instrumentación Atmosférica del INTA y utilizan la técnica de espectrometría de absorción diferencial (DOAS). El principio de medida se basa en el análisis de espectros obtenidos durante los crepúsculos por el instrumento apuntando al cenit. En estas condiciones, el recorrido óptico de los rayos solares en la atmósfera antes de alcanzar el detector, es unas 20 veces mayor que el existente midiendo a sol directo cuando éste se encuentra en la vertical, pudiendo determinarse la densidad molecular por unidad de superficie de una columna según el recorrido óptico equivalente. El espesor óptico del NO<sub>2</sub> alcanza así valores entre un 1 y un 3% en algunas bandas, que aunque pequeños, pueden ser medidos por los instrumentos. El espectrómetro instalado en 1993 (EVA) trabaja con un monocromador de barrido en los rangos de longitud de onda de 430-450 nm y 470-490 nm, el espectrógrafo (RASAS) opera en el rango de 330 -620 nm y ambos miden simultáneamente NO<sub>2</sub> y ozono.

## 3. Resultados obtenidos



En la figura 1 se ha representado la evolución de la columna vertical de NO<sub>2</sub> para los crepúsculos matutino y vespertino obtenidos a partir de la media de los valores verticales que corresponden a los ángulos cenitales comprendidos entre 88° y 92°. Los datos correspondientes al periodo 1993 – diciembre 1998 fueron adquiridos por el EVA, el resto por el instrumento RASAS. En verde se muestra el número de horas de luz a 30 km de altura (altura a la que está el máximo de NO<sub>2</sub>) sobre Izaña.

Para homogeneizar ambas series de diferente procedencia se hizo una intercomparación entre ambos instrumentos siendo la correlación entre ellos de 0.986. La homogeneización se hizo con un factor de 1.06146.

La onda anual del NO<sub>2</sub> que se presenta en la figura 1 está en fase con el número de horas de luz, indicando que, en latitudes subtropicales, el control del NO<sub>2</sub> es fundamentalmente fotoquímico y por tanto las variaciones observadas son producidas "in-situ" en oposición a lo encontrado en latitudes altas, donde los cambios observados en el NO<sub>2</sub> estaban correlacionados positivamente con la temperatura estratosférica sobre el lugar de observación (Van Roozendaal et al., 1994). Este resultado es apoyado por los datos de temperatura a 50 y 30 hPa (no mostrados en la figura) obtenidos en Tenerife donde la amplitud de la onda anual de temperaturas es de alrededor de 5 K a esos niveles, aunque ocasionalmente se dan episodios de temperaturas mucho más bajas (invierno 94/95). En esta situación, la evolución del NO<sub>2</sub> está modulada por factores astronómicos (horas de luz), dinámicos y radiativos, no por la temperatura a ese nivel (Yela, 1998).

La amplitud de las ondas anuales oscilan entre  $1.5 \times 10^{15}$  y  $4 \times 10^{15}$  moléculas/cm<sup>2</sup> para el caso de los valores de la mañana y entre  $3.3 \times 10^{15}$  y  $6 \times 10^{15}$  moléculas/cm<sup>2</sup> para los valores de la tarde. A partir de 1993 se observó un aumento de los niveles de NO<sub>2</sub> que continuó durante los años siguientes hasta





1996, fruto de la recuperación tras la erupción del volcán Mote Pinatubo. En el caso de Izaña no tenemos datos previos a la erupción con los que referenciar los valores obtenidos desde 1993, sin embargo es evidente que se observa una tendencia creciente en la concentraciones de  $\text{NO}_2$  en años posteriores a 1993. En estaciones como Jungfraujoch ( $46^\circ \text{N}$ ,  $8^\circ \text{E}$ ), donde sí existen datos anteriores a 1991, se observaron en 1995 niveles de  $\text{NO}_2$  similares (o incluso ligeramente mayores) a los medidos en 1990.

La estación se encuentra situada por encima de la capa límite por lo que está libre de contaminación. Se pueden observar algunas valores más altos de lo normal y otras perturbaciones en días particulares debido a efectos relacionados con episodios tales como irrupción de polvo sahariano, que producen un fuerte scattering de Mie en la troposfera en las medidas realizadas al cenit o a incrementos esporádicos de  $\text{NO}_2$  en la alta troposfera subtropical asociados a células de tormenta.

El período de verano es más estable debido a baja actividad de ondas planetarias existentes durante esa época del año y que está relacionada con los vientos del Este presentes en niveles de 50 y 30 hPa. en primavera las variaciones día a día son mayores. En otoño e invierno, restablecidos ya los vientos zonales del Oeste, aumenta la actividad de las ondas planetarias, modulando en muchos casos la evolución del  $\text{NO}_2$  y produciendo oscilaciones con periodos de 12-14 días (Yela, 1998). En primavera se observa una mayor dispersión alrededor de la onda anual calculada debido a la mayor inestabilidad dinámica existente en la estratosfera. La variación diurna es máxima a finales de diciembre cuando la noche es lo suficientemente larga como para producirse la recombinación del  $\text{NO}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}_5$  pero el día lo suficientemente largo como para producirse una completa fotodisociación de este último. Es mínima a finales de junio, cuando el número de horas de sol es mayor.

#### 4. Referencias

- Crutzen, P.J., The influence of nitrogen oxides in the atmospheric ozone content, *J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, 320, 1970.
- M. Koike, N.B. Jones, W.A. Matthews, P.V. Johnston, R.L. McKenzie, D. Kinnison and J. Rodríguez, *Geophys. Res. Lett.*, V21, 597-600, 1994.
- Roscoe, et al., Slant column measurements of  $\text{O}_3$  and  $\text{NO}_2$  during the NDSC intercomparisons of zenith-sky UV-visible spectrometers in June 1996, *J. Atmos. Chem*, 32, 281-314, 1999
- Solomon, S., R. W. Portmann, R.R. García, L.W. Thomason, L.R. Poole and M.P. McCormick, The role of aerosol variations in anthropogenic ozone depletion at northern midlatitudes, *J. Geophys. Res.*, 101, 6713-6727, 1996
- Van Roozendaal, M., C. Fayt, D. Bolsee, P. C. Simon, M. Gil, M. Yela y J. Cacho, Ground based stratospheric  $\text{NO}_2$  monitoring at Keflavik (Iceland) during EASOE, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 1379-1382, 1994.
- Yela, M, Estudio del sistema  $\text{O}_3$  -  $\text{NO}_2$  en latitudes bajas basado en observaciones desde tierra utilizando la técnica de espectroscopía de absorción UV-Visible, Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, 1998.